

**EQUAÇÕES PARA ESTIMAÇÃO DO VOLUME E
BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE CARVALHOS:**
Quercus suber e Quercus ilex

Joana Amaral Paulo e Margarida Tomé



GIMREF

Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Publicações do GIMREF - RC1/2006

Como referenciar este documento:

Paulo, J. A., Tomé, M. 2006. Equações para estimação do volume e biomassa de duas espécies de carvalhos: *Quercus suber* e *Quercus ilex*. Publicações GIMREF. RC1/2006. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 21 pp.

Índice

1. Introdução	2
2. Definição de conceitos	4
3. Descrição dos dados	6
a. sobreiro	6
b. azinheira	6
4. Métodos	8
5. Resultados	9
5.1. Equações para o volume do fuste sem casca e com cepo (vus)	9
a. sobreiro	9
b. azinheira	11
5.2. Equações para o volume do fuste com casca e com cepo (vs)	12
5.3. Equações para o volume com casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm (v)	13
5.4. Equações para o volume sem casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm (vu)	14
6. Sistemas de equações de biomassa	17
6.1. Definição das componentes do sistema	17
6.2. Selecção dos modelos	17
6.3. Ajustamento simultâneo do sistema baseado no diâmetro sem casca	18
6.4. Ajustamento simultâneo do sistema baseado no diâmetro com cortiça	19
Referências bibliográficas	21

1. Introdução

O objectivo deste trabalho foi o ajustamento de equações que permitam estimar o volume e a biomassa para as espécies *Quercus suber* e *Quercus ilex*.

Os dados utilizados para o desenvolvimento destas equações são provenientes de abates autorizados realizados no âmbito de diversos projectos desenvolvidos no Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia, em particular dos projectos: (i) SUBER-MODEL, projecto FCT/1999/AGR/35173 “Modelo de crescimento e produção orientado para a gestão do montado de sobreiro em Portugal”; (ii) SUBERWOOD, projecto EU QLK5-CT-2000-00701 “Strategy and technology development for a sustainable wood and cork forestry chain” e (iii) NEOINV, projecto INIA 1999.09.6811.7 “Inventário Florestal Nacional. Novas metodologias para gestão e aquisição de dados”.

Dada a ausência de equações deste tipo para as espécies do sobreiro e da azinheira, houve inicialmente a necessidade de definir conceitos exactos para as componentes lenhosas da árvore, em particular para a variável volume. Dada a semelhança da conformação entre ambas as espécies optou-se por adoptar os mesmos conceitos para o sobreiro e para a azinheira.

As variáveis utilizadas para a modelação do volume foram as variáveis dendrométricas da árvore que estavam disponíveis no conjunto de dados. No entanto, dada a possibilidade de no futuro estas equações virem a ser utilizadas com dados provenientes de inventários florestais onde o conjunto das variáveis dendrométricas medidas é bastante mais restrito, foram também ajustadas equações dependentes apenas das variáveis dendrométricas mais frequentemente medidas num inventário florestal, tomando como referência o Inventário Florestal Nacional.

Para o sobreiro, a inexistência de dados de volume de outras componentes lenhosas que não o fuste obrigou a que neste trabalho se desenvolvesse apenas a equação para estimação do volume do fuste. Dadas as particularidades da casca do sobreiro (cortiça), tanto a variável dependente (volume do fuste) como a variável independente diâmetro à altura do peito, dizem respeito a valores sem casca/cortiça. Pelo mesmo motivo não se apresenta para o sobreiro uma equação para o volume de fuste com casca/cortiça.

No caso da azinheira existem, para além dos dados de volume do fuste, dados de volume de outras componentes lenhosas. Desta forma foi possível ajustar equações para o volume de fuste e volume até um diâmetro de despona igual a 7.5 cm. Em ambos os casos foram ajustadas duas equações: uma para volume com casca, e outra para volume

sem casca. Desta forma, no que diz respeito à azinheira foram ajustadas quatro equações.

No caso da modelação da biomassa as variáveis dendrométricas consideradas nas equações ajustadas foram apenas as disponíveis no inventário florestal nacional.

Os sistemas de equações apresentados dizem respeito a estimativas de biomassa de sobreiro e azinheira simultaneamente, dado que foi ajustado com os dados existentes de ambas as espécies. Esta decisão foi tomada dado o reduzido número de dados de biomassa de sobreiro existente, impossibilitando, nesta fase, o ajustamento de um sistema de equações exclusivo para o sobreiro. A diferenciação de cada uma das espécies neste sistema foi testada, através da inclusão de uma variável indicatriz relativa à espécie (0 = Sobreiro; 1 = Azinheira) em cada uma dos parâmetros das equações.

Numa segunda fase deste trabalho, após o abate e determinação de mais valores de biomassa de sobreiro e azinheira, serão desenvolvidos dois sistemas independentes para cada uma das espécies.

2. Definição de conceitos

De seguida apresentam-se as definições estabelecidas para volume e biomassa de sobreiro e azinheira, assim como outras importantes para a aplicação destas equações. As diferentes componentes lenhosas da árvore são também identificadas na figura 1.

Fuste – secção lenhosa que compreende o tronco principal da árvore, do solo até à primeira bifurcação.

Pernadas – ramificações principais que se iniciam no fuste a partir da primeira bifurcação.

Braças – ramificações originadas a partir das bifurcações das pernadas e que têm diâmetro médio com casca superior ou igual a 7.5 cm.

Ramos – ramificações com diâmetro médio com casca inferior ou igual a 7.5 cm.

Copa – conjunto da totalidade dos ramos e das folhas da árvore.

Volume de fuste sem casca e com cepo (vus) – volume de madeira sem casca no fuste da árvore. Nas árvores jovens, onde a bifurcação do fuste ainda não é evidente, o volume do fuste corresponde ao volume de todo o tronco principal até à altura em que o diâmetro médio com casca atinge o valor de 7.5 cm.

Volume de fuste com casca e com cepo (vs) – volume de madeira com casca no fuste da árvore. Nas árvores jovens, onde a bifurcação do fuste ainda não é evidente, o volume do fuste corresponde ao volume de todo o tronco principal até à altura em que o diâmetro médio com casca atinge o valor de 7.5 cm.

Volume até um diâmetro de despona de 7.5 cm sem casca e com cepo (vu) – volume sem casca de todas as componentes lenhosas da árvore, com diâmetro médio com casca superior ou igual a 7.5 cm (fuste, pernadas e braças).

Volume até um diâmetro de despona de 7.5 cm com casca e com cepo (v) – volume com casca de todas as componentes lenhosas da árvore, com diâmetro médio com casca superior ou igual a 7.5 cm (fuste, pernadas e braças).

Biomassa – peso seco de determinada secção da árvore.

Biomassa da copa (w_c) – biomassa correspondente à copa.

Biomassa de lenho (w_w) – somatório da biomassa de lenho correspondente às secções do fuste, pernadas e braças.

Biomassa da casca (w_b) – biomassa da casca existente nas secções do fuste, pernadas e braças da árvore.

Biomassa total (w) – somatório da biomassa de todas as componentes da árvore.

A definição do limite de 7.5 cm para a diferenciação entre parte lenhosa e ramos, deve-se ao facto de no inventário florestal nacional as árvores só serem medidas quando o seu diâmetro a 1.3 m é igual ou superior a esse valor. Desta forma, as equações aqui apresentadas para ambas as espécies, são aplicáveis apenas para árvores que verifiquem esta condição.

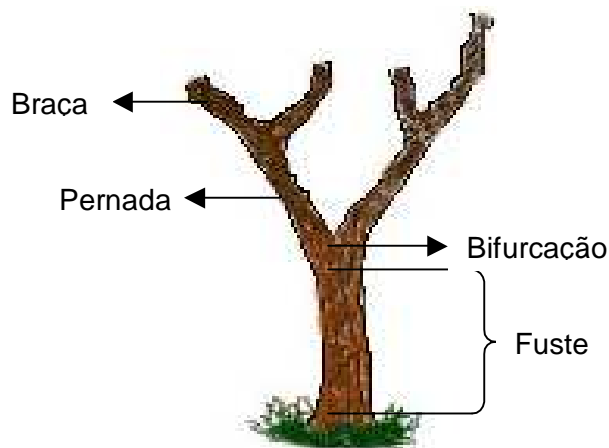


Figura 1 Principais componentes lenhosas consideradas para o sobreiro e azinheira

3. Descrição dos dados

3.1. Sobreiro

O conjunto de dados usado para o ajustamento das equações de volume de sobreiro é composto por 37 observações, correspondentes a 37 árvores que depois de abatidas foram cubadas para determinação do volume do fuste. No que diz respeito aos valores de biomassa, estes apenas foram determinados em 6 destas árvores.

Este conjunto de dados diz respeito a árvores de diferentes dimensões. Na tabela 1 apresenta-se um resumo das principais variáveis dendrométricas do conjunto das 37 árvores.

Tabela 1. Resumo das principais variáveis dendrométricas dos sobreiros amostrados (n = 37)

Variável	Mínimo	Média	Máximo
du	4.5	28.0	71.0
h	2.5	9.1	14.5
hcb	1.4	2.7	5.2
cl	1.1	6.4	10.0
hbif	1.4	2.7	5.5
cw	1.8	5.8	9.2
nbr1	1.0	-	4.0

du, diâmetro à altura do peito sem casca/cortiça (cm); h, altura total (m); hcb, altura da base da copa (m); cl, profundidade da copa (m); hbif, altura da bifurcação (m); cw, diâmetro médio da copa (m); nbr1, número de pernadas

3.2. Azinheira

O conjunto de dados usado para o ajustamento das equações de azinheira é composto por 22 observações, correspondentes a árvores que depois de abatidas foram cubadas para determinação do volume por componentes (fuste, pernadas e braças). Simultaneamente à determinação do volume foi determinada a biomassa em todas as 22 árvores.

Na tabela 2 apresenta-se um resumo das principais variáveis dendrométricas.

Tabela 2. Resumo das principais variáveis dendrométricas das azinheiras amostradas (n = 22)

Variável	Mínimo	Média	Máximo
d	15.3	46.2	78.9
h	4.9	7.8	13.5
hcb	1.1	1.9	4.2
cl	3.4	5.8	11.4
hbif	1.0	1.9	3.2
cw	3.5	9.1	17.0
nbr1	1.0	-	5.0

d, diâmetro à altura do peito com casca (cm); h, altura total (m); hcb, altura da base da copa (m); cl, profundidade da copa (m); hbif, altura da bifurcação (m); cw, diâmetro médio da copa (m); nbr1, número de pernadas

4. Métodos

No que diz respeito às equações de volume, seguiu-se a mesma metodologia para todas as equações ajustadas:

- i. Selecção de modelos alométricos simples e múltiplos de acordo com as variáveis disponíveis para regressoras.
- ii. Ajustamento dos modelos pelo método dos mínimos quadrados.
- iii. Teste das hipóteses de normalidade e homocedasticidade dos resíduos, através da visualização dos gráficos em papel de probabilidade (qq-plot), e dos gráficos dos resíduos studentizados em função dos valores preditos.
- iv. Quando encontrada, correcção da não normalidade dos resíduos pela aplicação iterativa da função de Huber, como proposto por Myers (1990).
- v. Quando encontrada, correcção da heterocedasticidade através do ajustamento com regressão ponderada.
- vi. No caso da equação para o volume de fuste sem casca e com cepo para a espécie do sobreiro, foram ainda comparadas as estimativas por hectare obtidas com os modelos propostos, com recurso a testes de comparação de médias. Estes foram aplicados a estimativas calculadas com base em medições de parcelas permanentes de sobreiro.

No caso da biomassa, os passos que se seguem resumem a metodologia aplicada:

- i Definição das componentes para o sistema.
- ii Selecção de uma equação para cada uma das componentes (lenho, casca e copa).
- iii Teste da diferença entre espécies com recurso a uma variável indicatriz incluída nos parâmetros das equações seleccionadas.
- iv Ajustamento simultâneo das equações seleccionadas e da equação para a biomassa total, expressa como o somatório das equações das componentes consideradas como proposto por Parresol (1999).

5. Resultados

5.1 Equações para o volume do fuste sem casca e com cepo (vus)

a. Sobreiro

Na tabela 3 apresentam-se as equações ajustadas para o sobreiro e respectivos parâmetros. Ambos os modelos foram ajustados com regressão ponderada.

Tabela 3. Equações para cálculo do volume do fuste sem casca de sobreiro

Equação	Sobreiro
vus1	$vus = 0.000115du^{2.147335}$
vus2	$vus = 0.000075du^{2.090484}hbif^{0.62849}$

du, diâmetro à altura do peito sem casca/cortiça (cm); hbif, altura da bifurcação (m); vus, volume do fuste sem casca e com cepo (m³)

Na tabela 4 apresentam-se algumas estatísticas calculadas para cada uma das equações ajustadas para o sobreiro.

Tabela 4. Estatísticas de predição para as equações ajustadas para cálculo do volume do fuste sem casca de sobreiro

Equação	MSE	M _{press}	M _{apress}	P ₉₅	P ₅	R ² _{press}	R ² _{ajust}
vus1	0.004	-0.001	0.046	0.161	-0.104	0.917	0.924
vus2	0.002	0.002	0.033	0.096	-0.112	0.958	0.961

MSE, erro quadrático médio; M_{press}, média dos resíduos press; M_{apress}, média do valor absoluto dos resíduos press; P₉₅, percentil 95 dos resíduos press; P₅, percentil 5 dos resíduos press; R²_{press}, R² baseado nos resíduos press; R²_{ajust}, R² ajustado

De forma a comparar as estimativas resultantes da aplicação dos dois modelos ajustados, e avaliar assim o que se perde por utilizar o modelos mais simples, seleccionaram-se dados de 29 parcelas com as quais se estimaram os volumes do fuste. Após calculados os volumes ao nível da árvore com cada um dos modelos, foram calculados os volumes de madeira da parcela, reportados ao hectare. Os valores obtidos com cada um dos modelos foram comparados com um teste t de amostras emparelhadas, e com um teste t de amostras independentes, ambos para a comparação de médias. A condição de igualdade das variâncias das amostras, exigida para a

aplicação deste segundo teste, foi garantida após a realização do teste estatística específico para o efeito.

O primeiro teste compara a prestação das equações para a cubagem de parcelas individuais, enquanto que o segundo se refere à respectiva capacidade para avaliar valores médios de um inventário.

De seguida, na tabela 5, mostram-se os resultados obtidos para o teste acima referido.

Tabela 5. Resultados dos testes bilaterais de comparação de médias dos valores de volumes por hectare, obtidos por aplicação das equações vus1 e vus2

	vus1	vus2
Média	12.55	11.57
Variância	48.28	60.18
Coeficiente de correlação de Pearson	0.986	
Teste a amostras emparelhadas		
Valor da diferença de médias na hipótese nula	0	
Graus de liberdade	28	
P(T<=t) two-tail	0.00139	
t Critical two-tail	2.04841	
Teste a amostras independentes		
Valor da diferença de médias na hipótese nula	0	
Graus de liberdade	56	
P(T<=t) two-tail	0.61436	
t Critical two-tail	2.00324	

Os valores resultantes da aplicação do teste para amostras emparelhadas implicam a rejeição da hipótese nula ($p_value = 0.00139$), pelo que se pode afirmar que as estimativas dos volumes feitas com cada um dos dois modelos, ao nível da parcela, são significativamente diferentes.

Por outro lado, os valores obtidos com o teste para amostras independentes indicam que a média dos volumes obtidos com ambos os modelos não diferem significativamente ($p_value = 0.61436$) quando o objectivo for avaliar a média das várias parcelas de um inventário.

No gráfico 1 observam-se os valores obtidos com cada uma das equações. No eixo do x os valores referem-se às estimativas com o modelos mais simples – vus1 –, e no eixo do y ao modelo vus2. Neste gráfico é evidente que as diferenças entre os modelos são maiores para valores de volume acima dos 0.20 m^3 .

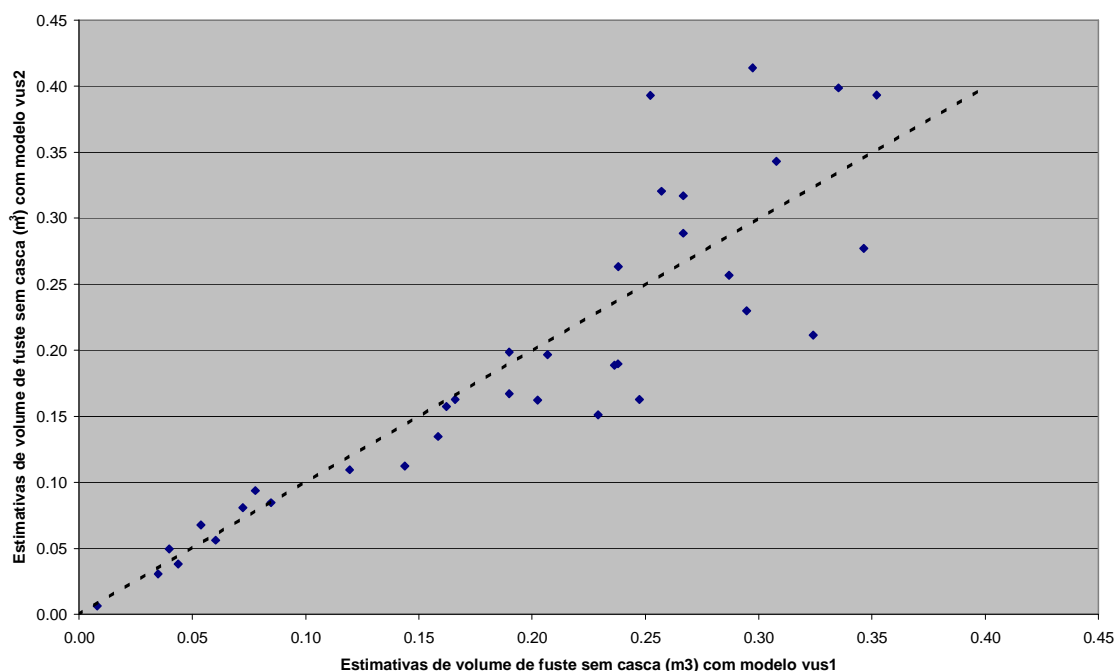


Gráfico 1. comparação dos valores de volume de fuste sem casca (m³) estimados com os modelos vus1 e vus2

b. Azinheira

No que diz respeito ao conjunto de dados para esta espécie, o ajustamento de diversas formas do modelo alométrico resultou sempre em estimativas do parâmetro k ($y = k x^a$) não significativamente diferentes de zero. Este problema foi contornado fixando o valor deste parâmetro com um valor estimado por duas formas alternativas. Primeiro o parâmetro foi fixado para o valor ajustado no próprio modelo alométrico; em seguida foi fixado com base na estimativa do termo independente do modelo alométrico ajustado sob forma. Optou-se então por fixar o parâmetro com o valor que melhores resultados de ajustamento e capacidade preditiva traduzia.

Na tabela 6 apresentam-se as equações ajustadas para a azinheira e respectivos parâmetros. Ambos os modelos foram ajustados com regressão ponderada.

Tabela 6. Equações para cálculo do volume do fuste sem casca de azinheira

Equação	Azinheira
vus1	$vus = 0.000116d^{1.983649}$
vus2	$vus = 0.000181d^{1.759813}hbif^{0.804259}$

d, diâmetro à altura do peito com casca (cm); hbif, altura da bifurcação (m); vus, volume de fuste sem casca e com cepo (m³)

Na tabela 7 apresentam-se algumas estatísticas calculadas para cada uma das equações ajustadas para a azinheira.

Tabela 7. Estatísticas de predição para as equações ajustadas para cálculo do volume do fuste sem casca de azinheira

Equação	MSE	M _{press}	M _{apress}	P ₉₅	P ₅	R ² _{press}	R ² _{ajust}
vus1	0.013	0.000	0.091	0.280	-0.128	0.711	0.753
vus2	0.010	-0.012	0.078	0.181	-0.121	0.600	0.813

MSE, erro quadrático médio; M_{press}, média dos resíduos press; M_{apress}, média do valor absoluto dos resíduos press; P₉₅, percentil 95 dos resíduos press; P₅, percentil 5 dos resíduos press; R²_{press}, R² baseado nos resíduos press; R²_{ajust}, R² ajustado

5.2. Equações para o volume do fuste com casca e com cepo (vs)

Dadas as especificidades da casca do sobreiro (cortiça) não faz sentido considerar o seu volume em conjunto com o da madeira da árvore. O facto de a cortiça ser removida periodicamente implica que o seu volume tem uma variação crescente durante 9 anos, e uma passagem para volume nulo no ano da extracção. Por este motivo, este tipo de equação só foi ajustada para o caso da espécie azinheira.

Também neste caso o ajustamento do modelo alométrico resultou em estimativas do parâmetro k não significativamente diferentes de zero. O procedimento para encontrar uma estimativa para o parâmetro foi a mesma que no ponto anterior.

Em relação à heterocedasticidade encontrada em ambos os modelos, esta foi corrigida com ajustamento por regressão ponderada.

Na tabela 8 apresentam-se as equações ajustadas para a azinheira e respectivos parâmetros.

Tabela 8. Equações para cálculo do volume de fuste com casca de azinheira

Equação	Azinheira
vs1	$vs = 0.00015d^{1.958391}$
vs2	$vs = 0.000234d^{1.734877}hbif^{0.799341}$

d, diâmetro à altura do peito com casca (cm); hbif, altura da bifurcação (m); vs, volume do fuste com casca e com cepo (m³)

Na tabela 9 apresentam-se algumas estatísticas calculadas para cada uma das equações ajustadas para a azinheira.

Tabela 9. Estatísticas de predição para as equações ajustadas para cálculo do volume do fuste com casca de azinheira

Equação	MSE	M _{press}	M _{apress}	P ₉₅	P ₅	R ² _{press}	R ² _{ajust}
vs1	0.016	0.000	0.102	0.296	-0.146	0.720	0.761
vs2	0.012	-0.013	0.086	0.185	-0.130	0.613	0.818

MSE, erro quadrático médio; M_{press}, média dos resíduos press; M_{apress}, média do valor absoluto dos resíduos press; P₉₅, percentil 95 dos resíduos press; P₅, percentil 5 dos resíduos press; R²_{press}, R² baseado nos resíduos press; R²_{ajust}, R² ajustado

5.3. Equações para o volume com casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm (v)

Tal como no ponto 5.2, não faz sentido considerar o volume com casca para o caso do sobreiro. Desta forma, só foram ajustadas equações para o caso da azinheira, pelo que estas usam como variável independente o diâmetro com casca.

Entre todos os modelos apresentados, apenas o modelo v5 não verificava heterocedasticidade, e portanto não foi alvo de ajustamento ponderado.

Na tabela 10 apresentam-se as equações ajustadas e respectivos parâmetros.

Tabela 10. Equações para cálculo do volume com casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm de azinheira

Equação	Azinheira
v1	$v = 0.000452d^{1.9783}$
v2	$v = 0.000195d^{(2.0488+0.0425nbr1)}$
v3	$v = 0.00014d^{1.1342}cw^{1.9500}$
v4	$v = 0.00003302d^{1.8686}h^{1.4603}$
V5	$v = 0.000438d^{0.922631}cw^{0.790854}h^{1.190277}$

d, diâmetro à altura do peito com casca (cm); nbr1, número de pernadas; cw, diâmetro médio da copa (m); h, altura total (m); v, volume com casca e com cepo (m³)

Na tabela 11 apresentam-se algumas estatísticas calculadas para cada uma das equações ajustadas para a azinheira.

Tabela 11. Estatísticas de predição para as equações ajustadas para cálculo do volume com casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm de azinheira

Equação	MSE	M _{press}	M _{apress}	P ₉₅	P ₅	R ² _{press}	R ² _{ajust}
v1	0.012	0.122	0.450	1.168	-0.530	0.529	0.732
v2	0.000	0.225	0.495	1.268	-0.783	0.453	0.809
v3	0.010	0.127	0.305	1.011	-0.384	0.790	0.903
v4	0.010	-0.039	0.313	0.571	-0.988	0.806	0.895
V5	0.072	-0.036	0.210	0.343	-0.421	0.929	0.945

MSE, erro quadrático médio; M_{press}, média dos resíduos press; M_{apress}, média do valor absoluto dos resíduos press; P₉₅, percentil 95 dos resíduos press; P₅, percentil 5 dos resíduos press; R²_{press}, R² baseado nos resíduos press; R²_{ajust}, R² ajustado

5.4. Equações para o volume sem casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm (vu)

Dadas as restrições do conjunto de dados disponível para o sobreiro, onde são inexistentes valores de volume referentes às pernadas e braças da árvore, não foi possível ajustar uma equação para o volume sem casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm para esta espécie.

De forma a contornar esta dificuldade, avaliou-se, a partir dos dois conjuntos de dados existentes de azinheira e sobreiro, a diferença existente entre os valores de volume do fuste sem casca entre as duas espécies. Concluiu-se não existir diferença significativa entre as duas espécies no que diz respeito à variável referida, facto que pode ser comprovado no gráfico 2.

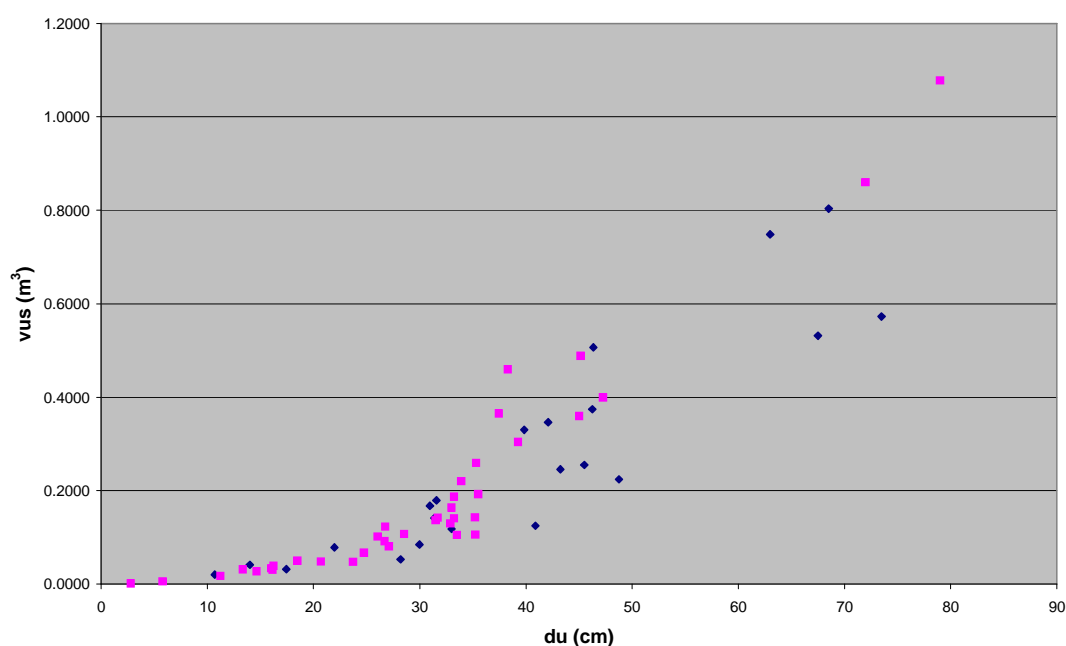


Gráfico 2. volume de fuste sem casca (vus) em função do diâmetro sem casca (du). Série azul: azinheira; série rosa: sobreiro.

Tomando o pressuposto de que os valores de volume nas pernadas e nas braças não diferem significativamente entre o sobreiro e a azinheira, como acontece para o volume do fuste, ajustou-se, com o conjunto de dados de azinheira, modelos para a variável vu para serem aplicados à espécie do sobreiro. Para que tal aplicação seja possível, estes modelos foram ajustados em função da variável independente do diâmetro sem casca/cortiça.

Na tabela 12, os modelos vui (i=1,...4) referem-se a modelos dependentes do diâmetro com casca, para aplicação ao caso da azinheira. Os outros quatro modelos (vu1.1,... vu1.4) diferem dos anteriores apenas por serem dependentes do diâmetro sem casca/cortiça, uma vez que foram ajustados por forma a poderem ser utilizados para o caso da espécie do sobreiro.

Entre todos os modelos apresentados, apenas o modelo vu5 não verificava heterocedasticidade, e portanto não foi alvo de ajustamento ponderado.

Na tabela 12 apresentam-se as equações ajustadas e respectivos parâmetros.

Tabela 12. Equações para cálculo do volume sem casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm de azinheira

Equação	Azinheira
vu1	$vu = 0.000283d^{2.0446}$
vu2	$vu = 0.000127d^{(2.0595+0.0720nbr1)}$
vu3	$vu = 0.000088d^{1.2027}cw^{1.7799}$
vu4	$vu = 0.000145d^{1.3602}h^{1.6287}$
vu4	$vu = 0.000071d^{1.344214}cw^{0.763336}h^{1.260299}$
vu1.1	$vu = 0.000460du^{2.0302}$
vu1.2	$vu = 0.000458du^{(1.8519+0.0599nbr1)}$
vu1.3	$vu = 0.000195du^{1.4071}cw^{1.3907}$
vu1.4	$vu = 0.000144du^{1.6187}h^{1.2519}$
vu1.5	$vu = 0.000115du^{1.3710}cw^{0.6264}h^{1.1233}$

d, diâmetro à altura do peito com casca (cm); du, diâmetro à altura do peito sem casca (cm); nbr1, número de pernadas; cw, diâmetro médio da copa (m); h, altura total (m); vu, volume sem casca e com cepo (m³)

Na tabela 13 apresentam-se algumas estatísticas calculadas para cada uma das equações ajustadas para a azinheira.

Tabela 13. Estatísticas de predição para as equações ajustadas para cálculo do volume sem casca até um diâmetro de despona de 7.5 cm de azinheira

Equação	MSE	M_{press}	M_{apress}	P_{95}	P_5	R^2_{press}	R^2_{ajust}
vu1	0.010	0.109	0.386	1.056	-0.427	0.527	0.728
vu2	0.000	0.063	0.404	1.178	-0.851	0.593	0.951
vu3	0.003	0.025	0.293	0.780	-0.463	0.768	0.995
vu4	0.001	0.005	0.256	0.846	-0.528	0.842	0.996
vu5	0.051	-0.044	0.199	0.415	-0.420	0.898	0.945
vu1.1	0.000	-0.016	0.317	0.794	-0.419	0.681	0.824
vu1.2	0.000	0.053	0.323	1.132	-0.364	0.683	0.902
vu1.3	0.000	0.028	0.265	1.011	-0.239	0.766	0.918
vu1.4	0.000	0.002	0.213	0.419	-0.505	0.887	0.939
vu1.5	0.001	-0.015	0.149	0.357	-0.264	0.945	0.973

MSE, erro quadrático médio; M_{press} , média dos resíduos press; M_{apress} , média do valor absoluto dos resíduos press; P_{95} , percentil 95 dos resíduos press; P_5 , percentil 5 dos resíduos press; R^2_{press} , R^2 baseado nos resíduos press; R^2_{ajust} , R^2 ajustado

6. Sistemas de equações de biomassa

6.1. Definição das componentes do sistema

Os sistemas desenvolvidos são compostos por 3 equações, referentes a 3 componentes da árvore: copa, lenho e casca. As definições destas componentes podem ser encontradas no ponto 2. deste relatório.

A biomassa total foi definida como o somatório da biomassa das 3 componentes consideradas, tendo sido o sistema ajustado de forma simultânea com o método “nonlinear seemingly unrelated regressions” (NSUR) de forma a melhorar a eficiência dos estimadores. O método de ajustamento utilizado encontra-se descrito em Paulo et al. (2003).

6.2. Selecção dos modelos

Os modelos testados têm a forma alométrica, sendo função do diâmetro com casca e sem casca em cada um dos dois sistemas alternativos. Isto permitirá utilizar os sistemas de equações no caso do sobreiro e da azinheira, uma vez que no caso da primeira espécie a variável preditora a utilizar é o diâmetro sem casca/cortiça.

Nesta fase do trabalho foi estabelecido que os modelos a utilizar nos sistemas de equações incluíam apenas a variável diâmetro. Esta opção deve-se ao facto de o primeiro objectivo de aplicação destes sistemas serem os dados do Inventário Florestal Nacional, nos quais para o sobreiro e azinheira apenas se dispõe da medição do diâmetro em todas as árvores.

Outras variáveis, como seja o diâmetro da copa, variável apenas medida em árvores modelo ou em algumas árvores mais próximas do centro das parcelas, embora melhorem a capacidade de predição dos modelos, teriam de ser estimadas com recurso ao diâmetro à altura do peito, pelo que se optou por não as utilizar. Este procedimento provou-se resultar em equações com capacidade preditiva semelhante ou inferior à das equações que são apenas dependentes do diâmetro.

Nos modelos alométricos testou-se ainda a significância de uma variável indicatriz, que no caso de significativa, viria a diferenciar as estimativas de biomassa de ambas as espécies (0 = Sobreiro; 1 = Azinheira).

No entanto, em todos os modelos testados, verificou-se que esta variável não era significativa, devendo este factor estar relacionado com o pequeno número de observações de sobreiro no conjunto de dados.

Foram então definidos dois sistemas de equações alternativos. Um primeiro (sistema 1) que poderá ser utilizado para estimar valores de biomassa em sobreiro, e um segundo (sistema 2), com equações semelhantes mas função do diâmetro com casca (d), aplicável para o caso da azinheira.

6.3. Ajustamento simultâneo do sistema baseado no diâmetro sem casca

Este sistema será para aplicar ao caso do sobreiro, uma vez que a variável diâmetro se refere ao caso sem casca (sem cortiça), sendo esta a variável considerada em inventário para a caracterização desta espécie.

De seguida apresenta-se a forma final do sistema, após este ter sido ajustado de forma simultânea e ponderada, segundo o método descrito em Paulo et al. (2003). Neste sistema du é expresso em cm e todas as componentes de biomassa em kg.

$$\left\{ \begin{array}{ll} wc = 3.234647du^{1.118181} & R^2 = 0.771 \\ ww = 0.414614du^{1.959968} & R^2 = 0.7882 \\ wb = 0.960006du^{1.300779} & R^2 = 0.777 \\ w = wc + ww + wb & R^2 = 0.909 \end{array} \right.$$

A aplicação deste sistema para a determinação da biomassa de casca comporta algumas especificidades. Tal prende-se com o facto de a casca do sobreiro ser periodicamente extraída, levando a que a sua biomassa na árvore varie consoante o tipo de cortiça, e a idade que a cortiça amadia apresenta desde a sua última extracção. Desta forma, define-se a biomassa de casca para árvores de sobreiro, como sendo a biomassa de cortiça virgem existente na árvore, até ramificações com um diâmetro de 7.5 cm.

A quantificação da biomassa de casca será então feita de forma diferente consoante a árvore só possua cortiça virgem, ou já esteja em produção e portanto possua também cortiça amadia.

No primeiro caso a biomassa de casca é calculada directamente pela equação wb apresentada no sistema.

No caso de árvores descortiçadas, ao valor obtido pela equação da biomassa de casca apresentada no sistema (wb), tem de ser subtraído o valor da biomassa de cortiça virgem, que estaria na superfície que agora se apresenta descortiçada. Esse valor é fornecido por duas equações alternativas.

Desenvolvida com os dados utilizados no presente relatório:

$$wvc_{22.3} = 0.088522 \cdot du^{1.822967} \quad R^2 = 0.850$$

Esta equação fornece uma estimativa da biomassa de cortiça virgem ($wvc_{22.3}$ em kg) existente ao longo da árvore, até ramificações com diâmetros sobre cortiça superiores a 22.3 cm. Este valor foi escolhido, pois corresponde ao diâmetro mínimo legal de uma braça ou pernada, para que esta possa ser descortificada.

Esta equação tem o inconveniente de não entrar com a informação da altura de descortificação da árvore, admitindo que está descortificada até ao limite legal, definido em termos de perímetro mínimo das pernas a descortificar. No entanto, será esta a equação preferida no caso de dados de inventários florestais em que a altura de descortificação não foi medida.

O valor da variável du está expresso em cm.

Paulo e Tomé (não publicada):

$$wvc = -22.2664 + 0.006705 \cdot du^2 + 5.188202 \cdot \ln(hdesc) \quad R^2 = 0.481$$

Nesta equação wvc é o valor da biomassa de cortiça virgem em kg, expressa em função do diâmetro sem cortiça em cm (du) e da altura de descortificação da árvore, esta também em cm. $\ln(X)$ é o logaritmo neperiano da variável X .

Embora com menor capacidade preditiva que a equação anterior, esta equação entra com a variável altura de descortificação, pelo que deverá ser utilizada sempre que esta for conhecida. No caso da existência de pernas descortificadas, deverá utilizar-se a altura de descortificação média, definida legalmente como a soma da altura do fuste com a média dos comprimentos descortificados em cada pernada.

6.4. Ajustamento simultâneo do sistema baseado no diâmetro com cortiça

De seguida apresenta-se a forma final do sistema baseado no diâmetro com cortiça, após este ter sido ajustado de forma simultânea e ponderada, segundo o método descrito em Paulo et al. (2003).

Este sistema, pela variável que o compõem, deverá ser aplicado para a azinheira, uma vez que nesta espécie o diâmetro medido à altura do peito diz respeito ao caso com cortiça. Neste sistema du é expresso em cm e todas as componentes de biomassa em kg.

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{wc} = 1.909152d^{1.200354} & R^2 = 0.702 \\ \text{ww} = 0.164185d^{2011002} & R^2 = 0.752 \\ \text{wb} = 0.600169d^{1.355957} & R^2 = 0.711 \\ \text{w} = \text{wc} + \text{ww} + \text{wb} & R^2 = 0.785 \end{array} \right.$$

Referências bibliográficas

Myers, R. H. 1990. Classical and Modern Regression with Applications. Second edition. Duxbury Classic Series.

Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. For. Sci. Vol. 45/4, p.573-593.

Paulo, J.A., Tomé, J., Tomé, M. 2003. Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de azinheira. In: Brito, P., Figueiredo, A., Sousa, F., Teles, P., Rosado, F. (eds), Literacia e Estatística. Actas do X Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística (SPE), Porto, pp. 501 – 510.

Tomé, M., 2005. Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobro em Portugal. Relatório final do projecto POCTI/AGR/35173/99. Relatórios finais de projectos do GIMREF nº RFP 1/2004. Centro de Estudos Florestais. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. Portugal.